



Fakulta strojní ČVUT v Praze,
Oddělení pro vědu a výzkum,
Technická 4,
166 07 Praha
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

Oponentní posudek doktorské disertační práce

Název práce: Frézování kompozitních materiálů s termoplastickou maticí

Autor: Ing. Petr Mašek

Školitel: prof. Dr. Ing. František Holešovský

Školitel specialista: Ing. Pavel Zeman, Ph.D.

Studijní obor: Strojírenská technologie

Školící pracoviště: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze

Oponent: prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Pracoviště: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Vyjádření k aktuálnosti tématu disertační práce:

Zajištění vysoce produktivní výroby při dosažení vysoké kvality povrchu obrobené součásti představují hlavní požadavky na proces obrábění nástrojem s definovanou geometrií břitu pro všechny použitelné konstrukční materiály. Výjimkou nejsou ani materiály kompozitní včetně jejich varianty s termoplastickou maticí.

Při obrábění těchto stále ještě poměrně mladých materiálů se ovšem vyskytuje celá řada problémů. Pokud se budeme pohybovat pouze v oblasti frézování, jedná se především o snížení kvality obrobené plochy, o značné abrazivní opotřebení použitých nástrojů a v neposlední řadě i o nízkou tepelnou odolnost tohoto materiálu.

Vzhledem ke skutečnosti, že výhodné konstrukčně provozní vlastnosti kompozitních materiálů budou jejich aplikaci posouvat ke stále širšímu průmyslovému využití, považují výzkumné práce, uvedené v předložené disertační práci, za vysoce přínosné a aktuální.

Vyjádření ke splnění stanovených cílů:

Cíle, které si doktorand vytýčil, byly rozsáhlé, náročné na zpracování výsledků a plně odpovídaly významu, který problematika obrábění kompozitních materiálů při současném stupni vývoje představuje. Pro jejich splnění musel doktorand nabýt širokých znalostí, což se projevilo ve velmi podrobně zpracované teoretické části disertační práce, která zmapovala současné vědění o možnostech frézování kompozitních materiálů s termoplastickou maticí.

Za velmi vhodnou považuji snahu o vypracování modelu pro predikci teploty povrchu obrobené plochy za účelem nalezení limitních řezných podmínek. Totéž platí o návrhu modelu řezných sil pro jejich predikci v netestovaných stavech. Mohu tedy konstatovat, že stanovených cílů bylo dosaženo.

Vyjádření k úrovni rozboru současného stavu řešené problematiky:

Teoretická část práce, představovaná kapitolami 2 a 3, je uvedena na 40 stranách a představuje tak přibližně třetinu předložené disertační práce. Teoretická část práce je dokladem propracovanosti tématu, což se odráží rovněž v rozsáhlé citaci publikačních zdrojů, téměř výhradně zahraničních. Materiálová analýza kompozitních materiálů a vliv jejich materiálových vlastností na proces frézování těchto materiálů jsou popsány vyčerpávajícím způsobem. Totéž platí i o podrobné rešerši metod měření teploty a jejich zhodnocení s ohledem na využitelnost při frézování FRTC materiálů. Za vhodnou považuji rovněž kapitolu pojednávající o problematice ochrany zdraví při frézování kompozitních materiálů.

V teoretické části práce se některé skutečnosti opakují, některé nemají dostatečnou vypovídací hodnotu (např. obr. 21). V obr. 20 a 23 bych přivítal podrobnější popis řezných podmínek experimentů, v obr. 20 a 22 se vyskytují netradiční pojmy – úhel řezný 65°, šířka opotřebení), v obr. 27b je chybně označena plocha hřbetu. Při popisu geometrie nástrojů pro obrábění kompozitních materiálů se hovoří mimo jiné o úhlech čela a hřbetu. Vzhledem k tomu, že jich na frézovacích nástrojích v daném bodě na ostří můžeme najít několik, bylo by dobré je blíže specifikovat.

Vyjádření k postupu řešení a k výsledkům disertace:

Na práci hodnotím velmi kladně pokus o hlubší analýzu konstrukce frézovacího nástroje a jejího vlivu na životnost nástroje a na kvalitu povrchu obráběného materiálu. Ke kladům práce lze přiřadit i snahu o nalezení vhodných řezných podmínek pro zvýšení produktivity obrábění a dodržení potřebné hladiny teploty obrobeného povrchu. Práce je logicky členěna, experimenty podrobně vystavěny a i grafická stránka práce je na požadované úrovni. Přesto si dovoluji k práci několik připomínek.

Na str. 70 neodpovídá označení sil v obr. 38 jejich popisu v kapitole 5.2.4.

V tab. 7 na str. 71 se vyskytují pojmy úhel hřbetu (z čela nástroje) a úhel čela (z čela nástroje)?

Z práce není jasné, jak se řeší situace, když se plochy otřepů na horní a spodní hraně kompozitu překrývají?

Na str. 77 jsou nepřesně uvedeny parametry drsnosti Ra a Rz, přestože v Seznamu zkratk a symbolů jsou uvedeny správně.

Proč nebyla použita pro pokusy s nástroji druhé generace stejná řezná rychlost? Mohlo dojít k jejich lepšímu porovnání. (200 m/min u PCD nástrojů, 100 m/min u nástrojů s CVD-D povlakem)

Vyjádření k významu pro praxi a rozvoj vědního oboru:

Výsledky, prezentované v disertační práci, lze považovat za velmi přínosné pro vědu i praxi, neboť přinášejí cenné informace o možnostech návrhu vhodných nástrojů pro frézování kompozitních materiálů s termoplastickou matricí. Tyto nástroje mohou prokazatelně zvýšit kvalitu obrobeného povrchu ve srovnání se standardně nabízenými nástroji. Navržené metody měření teploty obrobeného povrchu polymerních kompozitních materiálů poskytují návod, jak měřit teplotu v tenkých kompozitních deskách při jejich frézování nástrojem s povlakem CVD-D

či PCD nástroji s cílem vyvarovat se poškození kompozitního materiálu hořením nebo tavením polymerní matrice. V práci uvedené výsledky naznačují možnosti reálného využití v praxi.

Vyjádření k formální a jazykové úrovni práce:

Formální stránka práce je na velmi dobré úrovni. Textová část nepostrádá logickou návaznost, práce je podložena množstvím grafických výstupů. Totéž lze konstatovat i směrem k předloženým tezím, kde však postrádám stručný odborný životopis uchazeče a absenci odkazu na řadu publikačních zdrojů v textu tezí.

Připomínky k formální úrovni:

- Citování použitých zdrojů není vždy úplné [12, 72], některé zdroje [21-29] jsou v textu posunuty, některé odkazy na publikace autora jsou nepřesné [80, 86].
- Některé použité symboly nejsou uvedeny v Seznamu zkratk a symbolů (Λ , y_i , h_m , H_o , ...). Některé z nich nejsou v textu ani vysvětleny.
- V textu uváděné jednotky je dobré psát na jednom řádku s hodnotou veličiny.
- Není jasné, proč jsou fotografie na obr. 19 na str. 53 označeny c) a d)?
- V textu na str. 57 nejsou odděleny odkazy na obrázky, odkaz na emisivitu (6) na str. 138 je neadekvátní. V obr. 43 na str. 74 jsou sloupce označeny jako PX= místo PW=.
- Nepřesně jsou uvedena i některá jména. Správně je Ostafiev, Stefan Boltzmannova konstanta.

K jazykové stránce práce:

- V textu se vyskytují drobné chyby či překlepy (bór, tvrdost dle Mohsovi stupnice, umožňovat, byly zjištěny fakta, paramtericky, průměrné hodnoty syl, řezné pohyb, temrokamera).
- Drobné jazykové nuance chladicí vers. chladičí, řídicí vers. řídící.
- K nalezení jsou i nepřiliš často používané výrazy (zřídkaové, uhlíkatá ocel, testový materiál) či novotvary (v rozpůleném slinutém karbidovém nástroji, nejvíce všestranná geometrie).
- V textu se objevují i věty typu: „Aplikace šroubovice vede ke klidnějšímu a čistšímu řezu menší síly a lepšímu odvod třísek“, „Větší část této experimentálního testování...“, „...a tudíž se může pozorován zvýšený výskyt otřepů“.

Dotazy k předkládané práci:

1. Cílem disertační práce bylo dosažení optimální kvality povrchu při obrábění. Je možné tuto optimální kvalitu charakterizovat kvantitativně? Jak poznám, že kvalita je optimální? Na základě jakého kritéria?
2. Totéž lze říci i o návrhu optimálních řezných podmínek za účelem zvýšení kvality povrchu, optimálního tvaru nástroje za účelem predikce řezných sil.
3. Mohl by doktorand uvést nějaký konkrétní příklad využití FRP (PMC) materiálu ve zbrojařství?
4. Jak si vysvětlit větu: Malá zubová mezera může způsobit zvýšení průměrné aktivní síly kvůli ucpávání drážek? Pojem průměrná aktivní síla neznám.
5. V požadavcích na nové konstrukce nástroje se uvádí ideální hodnota úhlu čela 20° . Čím je toto tvrzení podloženo?
6. Bylo by možné vysvětlit rozdíly mezi teplotami T_g (teplota skelného přechodu), T_f (teplota tečení) a T_m (teplota tavení) u kompozitních materiálů s termoplastickou matricí?

Závěr:

Předložená disertační práce řeší aktuální problém související s problematikou frézování kompozitních materiálů s termoplastickou maticí. Doktorand zpracováním disertační práce prokázal, že ovládá experimentální výzkumné metody a je schopen řešit složité technologické problémy. Navržené cíle práce byly splněny a dosažené výsledky jsou použitelné pro praxi i jako podklad pro další výzkum v této oblasti.

O erudici doktoranda svědčí jeho bohatá publikační činnost i aktivní vystoupení na domácích i zahraničních konferencích. V jeho aktivitách, které se soustřeďují především do oblasti zaměření jeho disertační práce, se odráží dlouholeté pedagogické a vědeckovýzkumné zkušenosti jeho školitele i školitele specialisty.

Na základě shora uvedených skutečností a v souladu s §47 Zákona č. 137/2016 Sb. o vysokých školách **doporučuji** disertační práci Ing. Petra Maška k obhajobě a po jejím úspěšném absolvování udělení vědecké hodnosti Ph.D.

V Ostravě, 4. dubna 2019

.....

prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

oponent